档案

IEA CLEAN COAL CENTRE

高级超超临界粉煤技术情况

2013 年 12 月
第 13/16 号

粉煤燃烧（PCC）发电厂主导了电力行业，该状况将在可预见的未来持续下去。粉煤燃烧（PCC）电厂的电力效率日益提高，这保证了煤炭消耗量更低，从而减少了燃料成本，有利于维持宝贵的煤炭资源。更高的电效率也能够减少需要经过废气清洁系统处理的废气量，有助于进行碳捕获和封存（CCS）。

提高过热蒸汽温度是提高粉煤燃烧（PCC）电厂净电效率的唯一最有效的方式。最高的过热蒸汽温度受到材料的限制，这些材料制成的高温组件可以在最高温度下工作 20–40 年。在历史上，蒸汽温度随着钢的发展而提高，从次临界的蒸汽温度到超临界（SC）温度，再到目前的高级超超临界（USC）温度。然而，钢的进一步发展没有受到重视，导致了钢铁方面的阻碍。但幸好目前的研究致力于使用镍合金来达到 700℃的超高温蒸汽温度，也就是高级超超临界（AUSC）温度，相应的净电效率大约是 50%（低热值，黑煤）。

开发新的高温材料很复杂。有很多可用的源材料和焊接材料；高温组件的形状和大小很不一样；有几种制造和焊接工艺可供选择。不同的高温组件要求特定的材料性质，这取决于压力和化学侵蚀的类型。因此，高温材料的研究项目是昂贵、耗时、有风险的。电力公司联盟、零部件制造商和研究机构需要将各自的优势和资源结合起来，从而完成这样的项目。此外，材料内在的技术风险会给投资者带来经济风险，所以需要政府部门的资金支持来减少金融风险。

在美国、欧盟、俄罗斯、日本、中国和印度有粉煤燃烧（PCC）电厂高级超超临界（AUSC）高温材料研究项目。此份报告将对这些项目的发展和情况进行回顾。

备选材料

所有项目的备选材料都是相似的。低成本的、经验证的铁素体钢用于暴露在 550℃以下蒸汽温度的组件上。经验证的、先进的 9-12%的铬马氏体钢用于暴露在 550℃至 625℃蒸汽温度的组件上。奥氏体钢可以用于过热器和回热器，但是蒸汽必须达到 625℃。新一代的大部分不合格镍合金 617、625 和 740 将用于薄壁和厚壁的组件，但是温度需高于 630℃。为了保持经济上的优势，填补 625-600℃这一范围的新型钢正在开发中。

改进的蒸汽循环和可选的工厂配置已经用于高级超超临界（AUSC）粉煤燃烧（PCC）发电厂了，也可用于次临界（SC）蒸汽温度和超超临界（USC）粉煤燃烧（PCC）电厂。此报告将介绍这一问题的各方面。

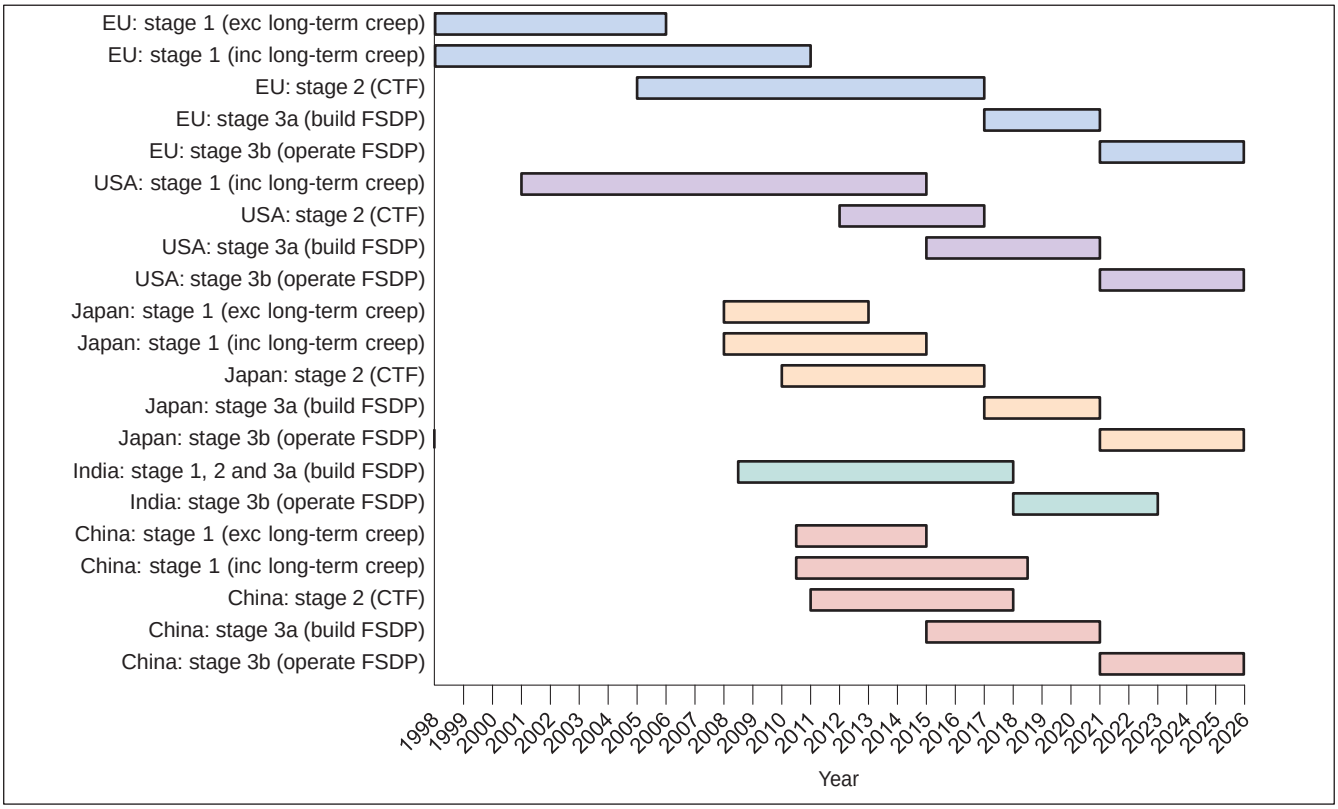
项目时间轴

材料研究项目有三个主要阶段，根据技术准备情况和资金情况各阶段间会有几年的重合。

阶段一，也就是小规模的实验室测试阶段，在 8 至 13 年的期间内使用机械和化学测试来描述和筛选材料，包括机械测试，如拉伸度、硬度、韧性、疲劳测试和蠕变实验；长期的蠕变实验需要 10 万小时（11.5 年）。化学测试包括蒸汽面耐氧化程度，而氧化也是蒸汽循环中大多数组件都会经历的；还有触火面的腐蚀，这也是大部分锅炉材料会发生的。

一旦从小规模实验室测试中获得了足够的信息，阶段二就会从备选材料中制作大规模的组件，并在组件测试设备（CTF）中测试它们。组件测试设备（CTF）使用的气流来自运行中的电厂。生产组件并构造组件测试设备（CTF）需要 4 至 5 年时间。在 3 至 5 年的运行之后，组件测试设备（CTF）会被拆解，组件会被充分评估。

国际能源署（IEA）清洁煤中心是 IEA 成员国之间的合作项目，提供与煤的技术、供应和利用相关的信息及分析。清洁煤中心的缔约成员国和赞助国澳大利亚、奥地利、巴西、加拿大、中国、欧盟、德国、印度、意大利、日本、韩国、新西兰、波兰、俄罗斯、南非、瑞士、泰国、英国和美国。



比较高级超超临界（AUSC）材料研究项目的时间轴的根特图表

如果大规模组件运行正常，这些材料、组件设计和生产方法可以用于在第三阶段建立一个实尺样板工厂（FSDP）。需要四至六年的时间建立一个 500 至 1000 兆瓦的实尺样板工厂。需要五年的运行来检验效果，还需要一年时间来评估材料。这一逐渐按比例增加材料的过程目的在于将风险最小化。

上面的根特图表说明在美国、中国、日本和印度的项目大部分已经完成了阶段一，除了长期的蠕变试验，这些项目正在阶段二取得积极进展。由于技术难题，欧洲的项目仍然处于阶段二。

印度的项目将于 2018 年开始运行实尺样板工厂（FSDP）。对于其它项目而言，到 2018 年，组件测试设备（CTF）的结果和长期蠕变试验的结果将为进入第三阶段提供充分的技术信息。第三阶段实尺样板工厂（FSDP）的运行计划于 2021 年开始，2027 年可以获得关于效果的结果。

如果实尺样板工厂运行成功的话，建立一个新的粉煤燃烧（PCC）电厂的时间是 4 年，那么一个商业电厂就可以在 2031 年上线了。由于扩大技术有风险，因此商业电厂的规模相似；商业电厂的净电效率预计可达到 52%（低热值，黑煤），规模取决于电厂的位置以及一个还是两个再热炉。

假设实尺样板工厂（FSDP）运行成功，高级超超临界（AUSC）粉煤燃烧（PCC）电厂的商业化完全依赖于 2027 年的工厂经济状况，而这也取决于可变因素，如煤的未来价格、镍合金的成本及碳税。

每期《档案》均基于国际能源署清洁煤中心进行的详细研究，研究报告全文另行提供。本期内容取材于以下报告：

《高级超超临界粉煤技术的状况》

Kyle Nicol

CCC/229, ISBN 978-92-9029-459-5,

第 57 页, 2013 年 12 月

本报告对于成员国组织免费。

出版 6 个月后对于非成员国组织售价 100 英镑，其后免费。

地址： Gemini House
10-18 Putney Hill
London SW15 6AA
United Kingdom

电话: +44 (0)20 8780 2111
传真: +44 (0)20 8780 1746
邮箱: mail@iea-coal.org
网站: www.iea-coal.org

EU: stage 1 (exc long-term creep) 欧盟：阶段 1（不包含长期蠕变）

EU: stage 1 (inc long-term creep) 欧盟：阶段 1（包含长期蠕变）

EU: stage 3a (build FSDP) 欧盟：阶段 3a（建立实尺样板工厂）

EU: stage 3b (operate FSDP) 欧盟：阶段 3b（运行实尺样板工厂）

USA: stage 1 (inc long-term creep) 美国：阶段 1（包含长期蠕变）

USA: stage 2 (CTF) 美国：阶段 2（煤焦油燃料）

USA: stage 3a (build FSDP) 美国：阶段 3a（建立实尺样板工厂）

USA: stage 3b (operate FSDP) 美国：阶段 3b（运行实尺样板工厂）

Japan: stage 1 (exc long-term creep) 日本：阶段 1（不包含长期蠕变）

Japan: stage 1 (inc long-term creep) 日本：阶段 1（包含长期蠕变）

Japan: stage 2 (CTF) 日本：阶段 2（煤焦油燃料）

Japan: stage 3a (build FSDP) 日本：阶段 3a（建立实尺样板工厂）

Japan: stage 3b (operate FSDP) 日本：阶段 3（运行实尺样板工厂）

India: stage 1, 2 and 3a (build FSDP) 印度：阶段 1,2 和 3a

India: stage 3b (operate FSDP) 印度：阶段 3b（运行实尺样板工厂）

China: stage 1 (exc long-term creep) 中国：阶段 1（不包含长期蠕变）

China: stage 1 (inc long-term creep) 中国：阶段 1（包含长期蠕变）

China: stage 2 (CTF) 中国：阶段 2（煤焦油燃料）

China: stage 3a (build FSDP) 中国：阶段 3a（建立实尺样板工厂）

China: stage 3b (operate FSDP) 中国：阶段 3b（运行实尺样板工厂）